

APOYO TÉCNICO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES
MODULARES VEHICULARES EN ACERO



GERSON JAVIER GUTIÉRREZ BARRERA



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN TRANSPORTE Y VÍAS
TUNJA
2018

APOYO TÉCNICO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES
MODULARES VEHICULARES EN ACERO

PRACTICA CON PROYECCION EMPRESARIAL O SOCIAL
(EMPREDIMIENTO EMPRESARIAL Y PASANTÍAS)

GERSON JAVIER GUTIERREZ BARRERA

Trabajo de Grado como requisito para optar al titulo de
INGENIERO EN TRANSPORTE Y VÍAS

Director:
DIEGO FERNANDO PAEZ MORENO
Ingeniero civil, M. Sc.

Coordinador de practica:
MARGARITA MARÍA VILLA GOMEZ
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2018

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 17 de 05 de 2018

DEDICATORIA

A mi hija Julieta Gutiérrez Sotelo, por ser mi ángel en la tierra y por quien sucede todo en nuestras vidas, para ti hija mía por un futuro juntos disfrutando del amor que un día de agosto decidió unirnos. A mi madre Nancy Esperanza Barrera Carreño, por su valentía y perseverancia de brindarle lo mejor a un hogar, a ti madre mía por darme la oportunidad de vivir y crecer al lado del mejor ejemplo de mujer, para ti madre mía por tu apoyo incondicional, por tanta entrega es quien soy hoy. A mi padre Edelmides Gutierrez Ruiz, por su dedicación y sacrificio, a ti padre por regalarme los mejores años de tu vida, por tu preocupación diaria de enseñar e inculcar los valores más humanos, a ti padre por brindarme la oportunidad de tener una formación integral y profesional, por ti padre es quien soy hoy.

A mis abuelos María Dolores Carreño y Roberto Barrera, los personajes de mi vida, a ustedes abuelos por tenderme siempre la mano, por su preocupación y cuidado en cada una de las etapas de mi vida, para ustedes abuelos como una muestra de retribuir una parte de lo que me han brindado.

A María Camila Sotelo Vega por su valentía y esfuerzo al traer al mundo a mi más grande bendición, nuestra hija, por Julieta y para Julieta gracias por esa vida juntos.

A ustedes y por ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mi escuela “Ingeniería en Transporte y Vías” la que motivo y contribuyo de gran manera a mi formación como profesional, a Ing. MARGARITA MARÍA VILLA, codirector. Por brindarme la oportunidad de realizar la practica en su empresa y por ayudarme durante el desarrollo de la misma, al Ing MsC DIEGO FERNANDO PÁEZ MORENO. Por su contribución en el desarrollo de la práctica como director de la práctica empresarial.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me colaboraron en el desarrollo de la práctica empresarial.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
3.1. MARCO TEÓRICO	6
3.2. MARCO CONCEPTUAL	7
3.3. MARCO INSTITUCIONAL	10
3.4. REFERENCIAS DE DISEÑO	11
4. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	11
5. DESARROLLO	13
5.1. PERIODO 1.....	13
5.2. PERIODO 2.....	16
5.3. PERIODO 3.....	20
5.4. PERIODO 4.....	24
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
7. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....	34
BIBLIOGRAFIA.....	35

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Puente “Sirius”	6
Ilustración 2. Puente “Sirius Max”	7
Ilustración 3. Equipo de soldadura SMAW	8
Ilustración 4. Plan de corte lámina de acero de 6.1x2.44 m	14
Ilustración 5. Viga transversal detalle para construcción.....	15
Ilustración 6. Detalle de soldadura.....	15
Ilustración 7. Vista en planta puente de 12 m de longitud.....	17
Ilustración 8. Vista transversal puente	17
Ilustración 9. Características viga IPE 600. (Unidades mm y kg).....	18
Ilustración 10. Pre-ensamble puente metálico 12m.	18
Ilustración 11. Pisos modulares para puente 12 m.....	19
Ilustración 12. Cargue puente 12 m.	20
Ilustración 13. Riostra superior e inferior puente el Cusay, Arauca.....	21
Ilustración 14. Vista inferior puente el Cusay.	21
Ilustración 15. Falla en viga transversal y arriostramiento inferior.	22
Ilustración 16. Vista longitudinal puente el Cusay.	22
Ilustración 17. Vista transversal puente el Cusay.	23
Ilustración 18. Vista transversal puente 6 m.	23
Ilustración 19. Características viga longitudinal puente 9m	24
Ilustración 20. Vista en planta puente 16m.....	25
Ilustración 21. Sección transversal con riostra.....	25
Ilustración 22. <i>Proceso de armado puente 16 m</i>	26
Ilustración 23. Cargue puentes metálicos.	27
Ilustración 24. Detalle apoyo.	27
Ilustración 25. Izado de puente 9m Tadó, Choco.	28
Ilustración 26. Izado puente 9m Tadó, Choco.....	28
Ilustración 27. Proceso de soldadura en unión de vigas longitudinales.....	29
Ilustración 28. Izado puente 16 m Tadó, Choco.	29
Ilustración 29. Izado puente 16 m Tadó, Choco.	30
Ilustración 30. Posición final puente 14 m Tadó, Choco.....	30
Ilustración 31. Montaje escalera de gato.....	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del acero A-588	9
Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero A-588.....	9
Tabla 3. Composición química del acero A-572	10
Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero A-572.....	10

RESUMEN

TITULO: APOYO TÉCNICO EN EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES MODULARES VEHICULARES EN ACERO

AUTOR: GUTIÉRREZ BARRERA, Gerson Javier

DESCRIPCIÓN:

En el presente documento se muestra la serie de actividades y metodologías desarrolladas para la ejecución de los trabajos, durante el “APOYO TÉCNICO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES MODULARES VEHICULARES EN ACERO” en donde de manera detallada se enuncian las especificaciones y criterios que permitieron llegar a conocer los mecanismos de construcción y montaje de las estructuras en acero. Para este proyecto la base fundamental de construcción. Son los mecanismos y procesos utilizados por la empresa ACERARQ S.A.S en el departamento de ingeniería, identificando las ventajas en la utilización de los puentes en acero ante eventuales acontecimientos de la naturaleza.

Este proyecto fue desarrollado con base en las siguientes etapas, las cuales al ser cumplidas a cabalidad permitieron el cumplimiento de los objetivos.

Etapas 1: Reconocimiento y capacitación

Etapas 2: Dimensionamiento de los elementos estructurales

Etapas 3. Conformación de los elementos de la estructura

Etapas 4. Ensamble de la estructura

Etapas 5: Elaboración de informe

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL SUPPORT IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF VEHICULAR MODULAR BRIDGES IN STEEL

AUTHOR: GUTIERREZ BARRERA, Gerson Javier

DESCRIPTION:

This document shows the series of activities and methodologies developed for the execution of the works, during the "TECHNICAL SUPPORT IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF VEHICULAR BRIDGES IN STEEL" where the specifications and criteria that allowed to arrive are detailed to know the mechanisms of construction and assembly of steel structures. For this project the fundamental basis of construction. Are the mechanisms and processes used by the company ACERARQ S.A.S in the engineering department, identifying the advantages in the use of bridges in steel before eventual events of nature.

This project was developed based on the following stages, which, when fully complied with, allowed the fulfillment of the objectives.

- Stage 1: Recognition and training
- Stage 2: Sizing of structural elements
- Stage 3. Conformation of the elements of the structure
- Stage 4. Assembly of the structure
- Stage 5: Report preparation

INTRODUCCIÓN

Los efectos positivos que trae consigo la construcción de estructuras elevadas en zonas donde barreras como el agua o el terreno dificultan la accesibilidad y el paso continuo, son fuente de crecimiento y desarrollo, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, contribuyendo con el atractivo de nuevos mercados, optimizando la extracción y comercialización de productos de la región.

Por esta razón, la construcción de puentes vehiculares ha marcado el desarrollo en Colombia, implementándose para el mejoramiento y rehabilitación vial, obteniendo gran variedad en diseños y materiales que garantizan su correcto funcionamiento. El acero es uno de los materiales insignia en la construcción de puentes vehiculares debido a la reducción en tiempos de fabricación, conformación de elementos estructurales, manipulación y montaje.

Teniendo en cuenta estas características actuales, en el siguiente documento se expone la metodología utilizada para la construcción de puentes vehiculares en acero ejecutada por la empresa ACERARQ S.A.S. en donde se basa en primera medida para el desarrollo idóneo de los objetivos propuestos inicialmente.

A su vez, partiendo de los conocimientos aprendidos, se muestra el procedimiento para cada etapa de construcción, teniendo en cuenta la calidad de los materiales, los cuales son documentados para la correcta trazabilidad de cada elemento estructural involucrado en la estructura.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía colombiana está enmarcada por elevadas pendientes, producto de sus cadenas montañosas, esto ha generado que los corredores viales estén sujetos a la implementación de estructuras elevadas que logren dar solución a problemas de accesibilidad y movilidad.

Por otro lado, en Colombia son bastantes las zonas donde el cambio climático ha ocasionado el desplome de viviendas y estructuras viales que permitían el desarrollo y sostenibilidad de su entorno, por estas razones los puentes vehiculares en acero son la mejor alternativa para permitir la pronta comunicación y accesibilidad a zonas afectadas, ya que su construcción, transporte y montaje no requiere de un periodo prolongado, cada elemento estructural puede ser pre ensamblado desarmado y llevado al sitio en el menor tiempo posible.

2. JUSTIFICACIÓN

Adquirir conocimientos para la solución de problemas de movilidad y accesibilidad en zonas vulnerables del territorio colombiano por medio de la implementación de puentes modulares vehiculares en acero, y a su vez ser parte del proceso de construcción, transporte y montaje de las estructuras en acero, optimizando procesos en la cadena de producción.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el siguiente capítulo se recopilarán los conceptos más importantes durante el desarrollo de las actividades en la construcción de puentes vehiculares en acero.

3.1. MARCO TEÓRICO

La implementación de puentes vehiculares modulares en Colombia ha estado enmarcado por la necesidad de explorar campos petroleros donde el acceso es reducido, haciendo necesario la implementación de estructuras que permitan el paso continuo de cargas, otro factor es el cambio climático el cual ha generado emergencias en zonas vulnerables de inundaciones y desplome de estructuras ocasionando emergencias de movilidad, por estas razones la empresa ACERARQ S.A.S ha desarrollado un puente modular que permite dar solución a eventuales acontecimientos que se puedan presentar en el territorio colombiano y a su vez satisface las necesidades logísticas de empresas encargadas de la explotación de hidrocarburos, este diseño puede alcanzar luces de hasta 54 metros. Estos puentes son de tipo “Sirius” y “Sirius Max” como se muestran a continuación.

Ilustración 1. Puente “Sirius”



Fuente: Área de ingeniería, ACERARQ S.A.S.

Ilustración 2. Puente “Sirius Max”



Fuente: Área de ingeniería, ACERARQ S.A.S.

3.2. MARCO CONCEPTUAL

Acero estructural: Se define como el resultado que se obtiene al combinar hierro, carbono y pequeños porcentajes de otros elementos como son silicio, manganeso, cobre, azufre, fósforo entre otros el cual permite un conjunto de propiedades determinadas, utilizado comúnmente para la industria de la construcción.

ASTM: American Society for Testing and Materials; Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.

AWS: American Welding Society; Sociedad Americana de Soldadura.

DUREZA: Grado de resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro.

EPP: Elementos de Protección Personal.

FILETE: Soldadura de una sección aproximadamente triangular, uniendo dos superficies que están relativamente en ángulo recto una de otra, en uniones sobrepuestas, en "T" o esquinas.

PQR: Procedure Qualification Record; Registro de Calificación del Procedimiento.

WPQ: Welder Performance Qualification; Procedimiento de Calificación de las Habilidades del Soldador.

WPS: Welding Procedure Specification; Especificación del Procedimiento de Soldadura.

Corte por plasma: el corte por plasma es un proceso que utiliza un chorro de alta velocidad de gas ionizado que se envía desde un orificio de constricción.

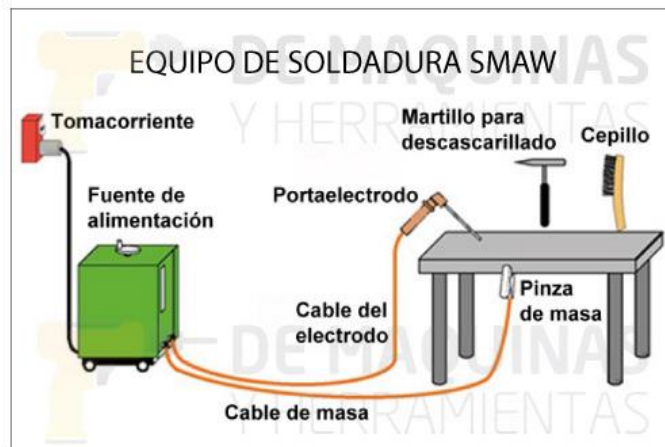
La alta velocidad del gas ionizado, que es el plasma, conduce la electricidad desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo. El plasma calienta la pieza de trabajo, fundiendo el material. El flujo de alta velocidad del gas ionizado sopla mecánicamente el metal fundido, rompiendo el material. (LINCOLN ELECTRIC, 2014). (1)

Material de aporte: Según la AWS A3-0-2001 (Standard Welding Terms and Definitions), es el material añadido en una junta soldada, también se refiere a los electrodos y a los cordones de soldadura. (2)

Proceso de soldadura (FCAW): La soldadura por arco con núcleo de fundente (Flux Cored Arc Welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión. (5)

Proceso de soldadura (SMAW): Conocido como soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW, por sus siglas en inglés). Se trata de una técnica en la cual el calor de soldadura es generado por un *arco* eléctrico entre la pieza de trabajo (metal base) y un electrodo metálico consumible (metal de aporte) recubierto con materiales químicos en una composición adecuada (fundente). (5)

Ilustración 3. Equipo de soldadura SMAW



Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>

Acero ASTM A588: Acero de baja aleación y alta resistencia especial para intemperie. La principal característica de este acero es que forma una capa auto-pasivante, más resistente a la corrosión atmosférica que un acero convencional. Dicha resistencia a la corrosión se traduce en disminución de mantenimientos a las estructuras en las cuales se utiliza este tipo de acero. (3)

Tabla 1. Composición química del acero A-588

	Grado A	Grado B	Grado C	Grado K
Carbono, max	0.19	0.20	0.15	0.17
Manganeso, max	0.80-1.25	0.75-1.35	0.80-1.35	0.50-1.20
Fósforo, max	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, max	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	0.30-0.65	0.15-0.50	0.15-0.40	0.25-0.50
Niquel, max	0.40	0.50	0.25-0.50	0.40
Cromo	0.40-0.65	0.40-0.70	0.30-0.50	0.40-0.70
Molibdeno, max	...	...	...	0.10
Cobre	0.25-0.40	0.20-0.40	0.20-0.50	0.30-0.50
Vanadio	0.02-0.10	0.01-0.10	0.01-0.10	...
Columbio	...	...	...	0.005-0.05

Fuente: Acero estructural de alta Resistencia y baja aleación de acuerdo con la ASTM. Recuperado de “Phione limited the Steel specialist.”

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero A-588

	Para espesores inferiores a 4 in. incl	Para espesores entre 4 in. y 5 in. incl	Para espesores sobre 5 in. incl
Resistencia a la tracción:	70,000 psi [485 MPa]	67,000 psi [460 MPa]	63,000 psi [435 MPa]
Min. Punto de fluencia:	50,000psi [345 MPa]	46,000psi [315 MPa]	42,000psi [290 MPa]
Elongación en 8 ":	18% min	...	...
Elongación en 2 ":	21% min	21% min	21% min

Fuente: Acero estructural de alta Resistencia y baja aleación de acuerdo con la ASTM. Recuperado de “Phione limited the Steel specialist.”

ACERO A-572: El acero estructural ASTM A572, se caracteriza por tener una variedad en su composición físico-Química, cada uno de ellos se diferencian por los elementos aleantes que le aportan al material distintos tipos de propiedades como el límite de elasticidad (σ_y), rangos de tracción (σ_u), resistencia a la fluencia, entre otros (ver anexo 7). Según la norma ASTM que regula este acero, su grado nos permitirá saber el esfuerzo que soporta y su elongación mínima. (4)

Tabla 3. Composición química del acero A-572

	Grado 42 [290]	Grado 50 [345]	Grado 60 [415]	Grado 65 [450] thick>1/2 in.	Grado 65 [450] thick≤1/2 in.
Carbono, max	0.21	0.23	0.26	0.23	0.26
Manganeso, max	1.35	1.35	1.35	1.65	1.35
Fósforo, max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio				N/A	N/A
Placas hasta 1-1/2 in. espesor	0.40	0.40	0.40		
Placas sobre 1-1/2 in. espesor	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40		

Fuente: Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de columbio-Vanadio de acuerdo con la norma ASTM A 572. Recuperado de “Phione limited the Steel specialist.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero A-572

	Grado 42 [290]	Grado 50 [345]	Grado 60 [415]	Grado 65 [450]
Resistencia a la tracción:	60,000 psi [415 MPa]	65,000 psi [450 MPa]	75,000 psi [520 MPa]	80,000 psi [550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	42,000psi [290 MPa]	50,000psi [345 MPa]	60,000psi [415 MPa]	65,000psi [450 MPa]
Elongación en 8":	20% min	18% min	16% min	15% min
Elongación en 2":	24% min	21% min	18% min	17% min

Fuente: Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de columbio-Vanadio de acuerdo con la norma ASTM A 572. Recuperado de “Phione limited the Steel specialist.

3.3. MARCO INSTITUCIONAL

ACERARQ S.A.S. es una organización con una experiencia de más de 15 años en el sector de la construcción y desarrollo de proyectos de obras civiles, así como en el diseño, montaje y fabricación de piezas estructurales. Con un equipo de trabajo comprometido con la excelencia en la formulación y aplicación de los procesos, a fin de garantizar soluciones efectivas para las necesidades de cada proyecto. Aunque una solución no se haya implementado antes, a través de la innovación y experiencia, está preparada para ser el mejor aliado estratégico en el éxito de proyectos. El equipo de trabajo y capacidad instalada en un taller propio, permiten ser un socio confiable en el desarrollo de proyectos, atendiendo oportunamente y con alta calidad las necesidades en

infraestructura. El espectro de servicios abarca desde la fabricación de piezas estructurales en acero, hasta el desarrollo integral, diseño y construcción de puentes vehiculares, peatonales y en estructuras en acero para edificaciones institucionales, comerciales y residenciales. (ACERARQ S.A.S, 2013). (1)

3.4. REFERENCIAS DE DISEÑO

AMERICAN WELDING SOCIETY 1.5 (BRIDGE WELDING CODE, AWS), (SOCIEDAD DE SOLDADURA AMERICANA)

CODIGO COLOMBIANO DE PUENTES (CCP-14). INVIAS

“Annual Book of ASTM Standards”, American Specifications of Test and Materials, Staff, 2009.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 3951), pinturas y productos afines. Sistemas de pinturas protectoras. Variables de evaluación en campo.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 3320), Recubrimientos en Zinc (galvanizado por inmersión en caliente) en productos de hierro y acero.

Manual de soldadura 7 edición, SOLDEXA.

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

En el siguiente capítulo encontraremos las etapas planteadas para el desarrollo de las actividades propuestas durante la práctica empresarial.

Para el desarrollo del proyecto se determinaron una serie de actividades en forma cronológica las cuales permitieron desarrollar y cumplir uno a uno los objetivos inicialmente planteados.

Etapas 1: Reconocimiento y capacitación: durante esta etapa se realizó un reconocimiento de las áreas donde se desempeñaron las actividades. El área de ingeniería fue el primero en donde se realizó la capacitación e inducción, bajo los estándares de calidad y seguridad en el trabajo; exponiendo las obligaciones, deberes para con la empresa y las actividades a realizar durante el periodo de duración de la pasantía. En el área del taller se realizó el reconocimiento de los equipos utilizados en cada una de las etapas de construcción y a su vez se identificaron los procesos a controlar.

Etapas 2: Dimensionamiento de los elementos estructurales: una vez identificados los procesos de construcción utilizados por la empresa, se da inicio al dimensionamiento de los elementos que conforman la estructura. El punto de partida lo dan los planos estructurales, donde se encuentran las

características de cada elemento como dimensiones y el espesor en que será construido. Con base en estos planos se elaboran los planos de taller, para cada elemento a construir. Se elabora un plano detallado, especificando la cantidad de piezas a cortar, dimensiones, espesor y procedimiento de soldadura a utilizar.

Etapa 3: Conformación de los elementos estructurales: Una vez se realizan los planos de taller, se da inicio al proceso de armado. Esta etapa es muy importante, se debe realizar una inspección visual y dimensional, para poder chequear cada pieza, que cumpla con las especificaciones indicadas en los planos. Esta etapa finaliza con el proceso de soldadura, cada detalle de la soldadura está incluida en los planos de taller elaborados en la etapa anterior, dependiendo de las condiciones atmosféricas y físicas decidirá el proceso de soldadura.

Etapa 4: Ensamble final de la estructura: Una vez conformados el total de elementos estructurales, se da inicio al proceso de pre-ensamble, una de las políticas de la empresa es ensamblar la estructura para ratificar que cumple con las especificaciones del diseño, así, en el momento del montaje se eliminarán problemas y complicaciones que puedan surgir en el armado final del puente.

Etapa 5: Transporte: uno de los factores de diseño de los puentes vehiculares modulares en acero es la forma de ser transportado al sitio de montaje. Esto dependerá de las dimensiones del puente y del vehículo utilizado, calculando el peso de cada elemento que no sobrepase lo permitido en el territorio Colombiano.

Etapa 6: Montaje: por último, se tiene el montaje de los puentes, esta actividad depende de la luz del puente; cuanto más corta la maquinaria y procedimiento serán más ligeros, los procedimientos más utilizados son izado y lanzado; el primero, se realiza para cargas reducidas y fáciles de maniobrar, el segundo procedimiento se realiza para puentes de luces mayores a los 20 metros esto también dependerá del terreno y espacio para realizar la maniobra.

5. DESARROLLO

En el siguiente capítulo se documentarán las actividades realizadas en el desarrollo de cada etapa planteada para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

El desarrollo de la práctica tuvo una duración de 4 meses, para cumplir con los objetivos propuestos se establecieron 4 periodos divididos cronológicamente con una duración de 4 semanas, de esta manera se documentó cada avance y actividad que se pudiera almacenar como evidencia.

5.1. PERIODO 1

Una de las actividades planificadas en el primer periodo fue la capacitación en las áreas afines donde iba a tener un rol o actividad asignada por parte de la empresa. El área asignada a cargo fue el área de ingeniería, donde se realizó la capacitación e inducción en el software utilizado para el corte de piezas (Nest Master), conociendo el funcionamiento de la empresa y los procesos ejecutados durante el diseño y construcción de puentes y estructuras metálicas.

La empresa cuenta con un sistema de control numérico computarizado CNC; el funcionamiento de este equipo consta de dos partes: la primera se basa en el diseño de elementos que son diseñados en el software AutoCAD, la segunda parte se basa en la exportación de un archivo en formato DXF al software (Nest Master), este programa convierte la pieza en un formato CNC el cual podrá ser leído por la máquina. Para lograr el corte el equipo CNC, utiliza un equipo de corte con "PLASMA", se produce por la alta temperatura generada por un arco eléctrico concentrado, el cual derrite el elemento logrando un corte perfecto.

En el departamento del taller se realizó un reconocimiento de los equipos, y desempeño de cada uno de los operarios, esto con el fin de poder designar las actividades para el proceso de construcción. El taller cuenta con un área para cada etapa del proceso constructivo y a su vez un operario calificado en cada actividad; se divide en área de corte, área de armado y área de soldado, una vez aprendido el funcionamiento de la empresa se da inicio a la segunda etapa.

La primera actividad realizada fue el cálculo de cantidades necesarios para la construcción de una escalera metálica, para definir la construcción de esta se tenían tres diseños, de los cuales se debía calcular el peso, cantidades e inventario de los materiales utilizados, con base en estos criterios se podía calcular el valor y funcionalidad. Se tiene como evidencia la hoja de cálculo de cada estructura.

La siguiente actividad realizada durante el primer periodo fue el cálculo del peso de cada elemento estructural y las cantidades de piezas necesarias para la conformación de elementos como columnas, vigas transversales, vigas

Para iniciar la construcción de este proyecto, se elaboran los planos de corte y de taller, los planos de corte se hacen para las láminas de acero, normalmente vienen en dimensiones de 6.1x2.44m y 12.200x2.444m, de esta manera se debe especificar la manera de cortar la lámina, reduciendo el desperdicio y optimizando los cortes. Los planos de taller contienen el despiece de cada elemento, especificando las dimensiones, espesor, ubicación y cantidades de piezas que se repitan en un mismo elemento, de esta manera el operario encargado de la etapa de corte y posteriormente de armado, pueda tener una idea clara de lo que construye. (Se anexan los planos elaborados para la construcción del Mezzanine). En la ilustración (3) veremos un ejemplo de un elemento y las piezas que la conforman.

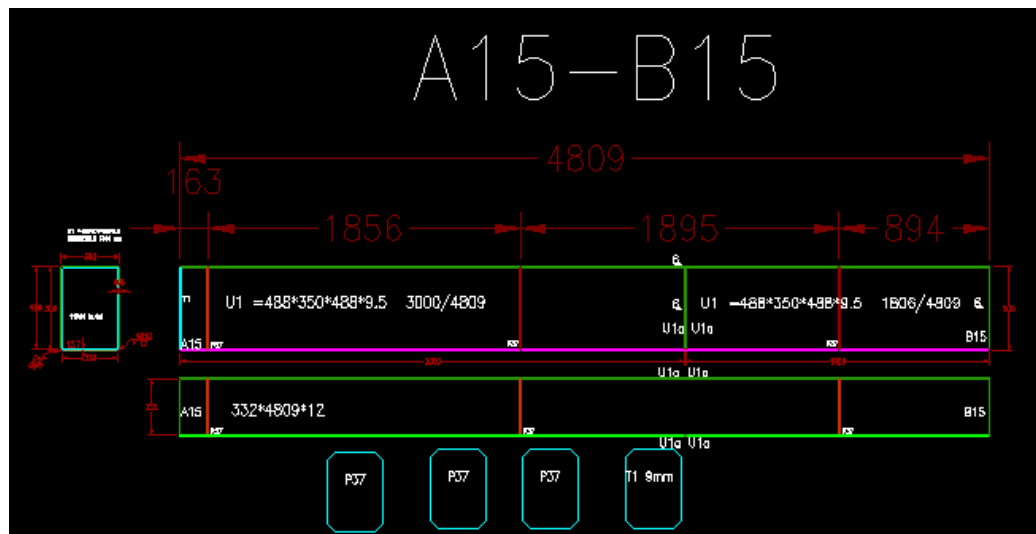
lamina de 6.1*2.44*19.04 2224.62 (2)

Dimension	Value
Width	6.1
Height	2.44
Length	19.04
Total Length	299.53

VIGA SECCION AA REFORZADA 334*6000*19.04 299.53

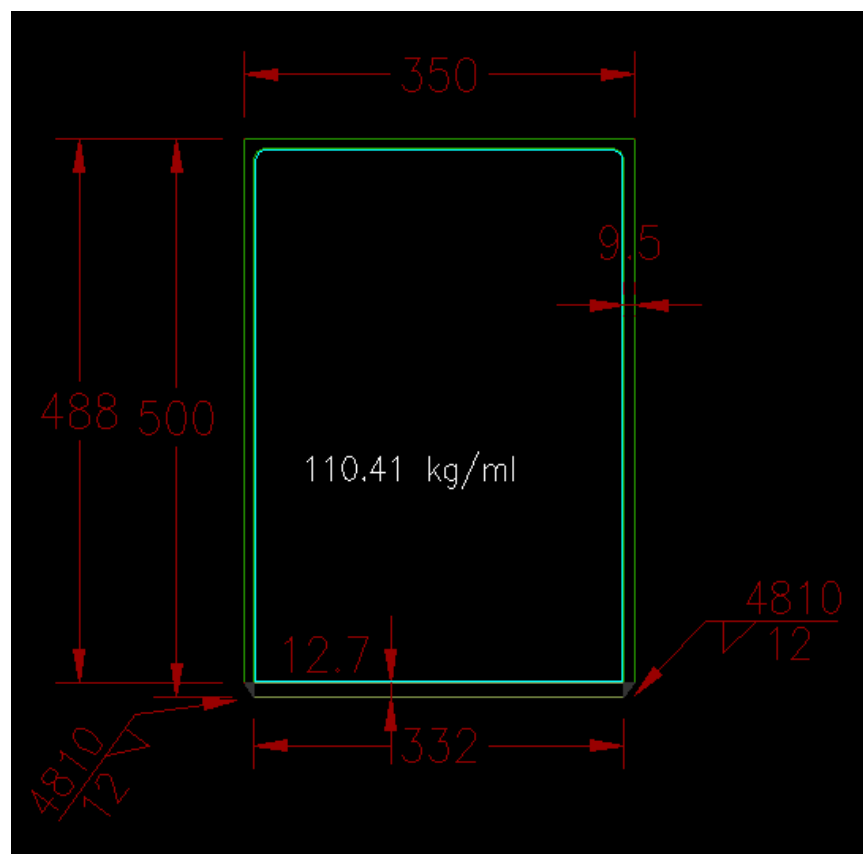
14

Ilustración 5. Viga transversal detalle para construcción.



Fuente: Área de ingeniería, ACERARQ S.A.S.

Ilustración 6. Detalle de soldadura.



Fuente: Área de ingeniería, ACERARQ S.A.S.

La ilustración anterior es una viga transversal, como se observa se detallan los espesores, dimensiones y peso de los elementos, esto facilitará la interpretación y lectura durante su construcción. Cada elemento tiene una numeración para su identificación y ubicación, esta nomenclatura se le debe colocar una vez se corte o ensamble la pieza, de esta manera no se tendrán piezas iguales.

Para continuar con el proceso, las piezas obtenidas del proceso de corte se ensamblan, dependiendo del elemento se debe preparar la junta de unión, los planos especifican si se debe hacer bisel, es de muy importante verificar los planos, en ellos está establecido la preparación de la junta. Cuando se tenga el elemento listo se puede armar, lo que hace el armador es darle las dimensiones establecidas colocando puntos de soldadura para unir las piezas.

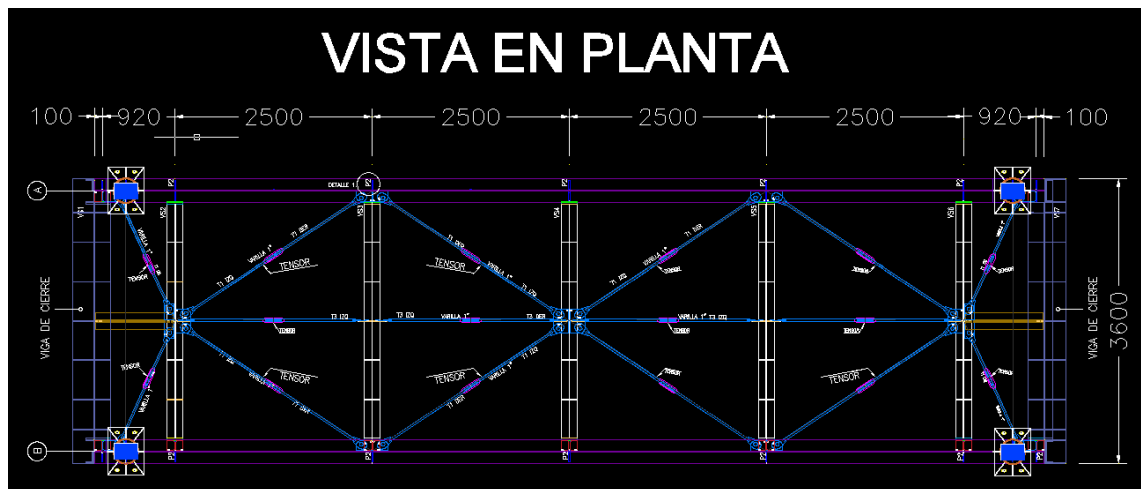
Una vez conformado el elemento se le aplica la soldadura, dependiendo del material base (Acero A572) se selecciona el proceso de soldadura, para este proyecto se le aplicó soldadura en rollo 71T1 con gas protector, el gas utilizado en este proceso es CO₂. Este proceso es más rápido que la soldadura con electrodo revestido.

5.2. PERIODO 2

En la segunda etapa o periodo empezó la construcción de un puente vehicular de 12 m con un ancho útil de 3.6 m para la petrolera OXY PETROLEUM, el cual fue dejado a cargo para controlar el proceso de construcción y el proceso de calidad del mismo, cada proyecto construido por ACERARQ S.A.S lleva un proceso de calidad que se documenta en un DOSSIER DE CALIDAD, en este se colocan las memorias de cálculo, planos estructurales, certificado de calidad del acero, la tornillería, la pintura y demás elementos que hagan parte del proyecto. También se adjuntan los certificados de cada soldador que intervino en el proceso y los ensayos no destructivos que se le realizan al puente para verificar el proceso de soldadura, la preparación de las juntas y el proceso de limpieza y pintura.

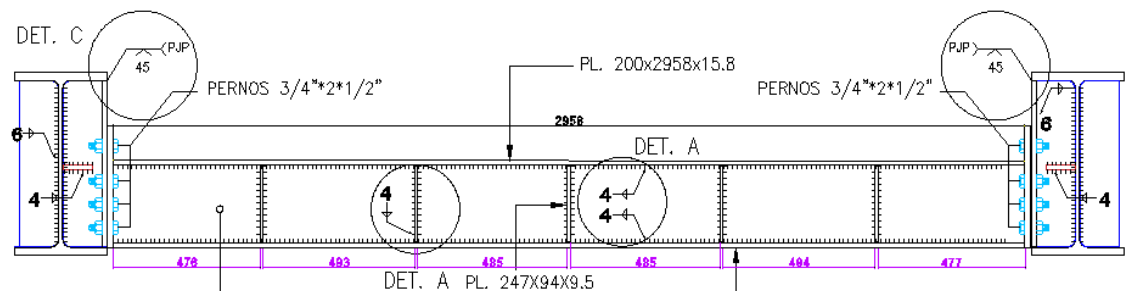
Este puente se compone de los siguientes elementos.

Ilustración 7. Vista en planta puente de 12 m de longitud.



Fuente: área de ingeniería ACERARQ S.A.S

Ilustración 8. Vista transversal puente

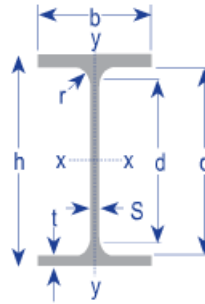


Fuente: área de ingeniería ACERARQ S.A.S

El puente se compone de vigas longitudinales, son aquellas que albergan la longitud total para la luz que fue diseñado en este caso de 12 m sus características corresponden a una viga IPE 600, como su nombre lo indica es un perfil en "I" con espesores característicos de alma y patín.

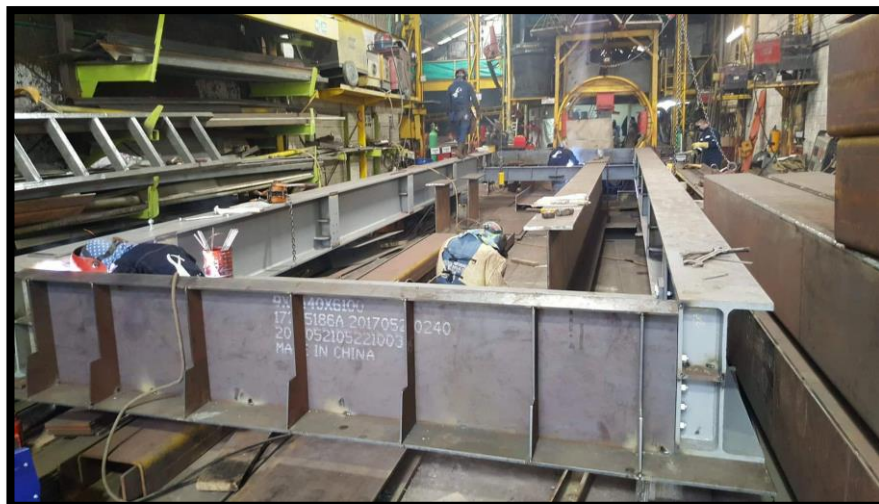
Ilustración 9. Características viga IPE 600. (Unidades mm y kg)

PERFILES IPE		DIMENSIONES						DIMENSIONES Y PROPIEDADES	
DESIGNACION		ALTURA		ALA			DISTANCIAS	AREA	PESO
		h	s	b	t	r	c	d	
IPE 600		600.00	12.00	220.00	19.00	24.00	562.00	514.00	156.00 122.00



Fuente: perfil I liviano e alas paralelar-IPE, recuperado de Steckleraceros.com

Ilustración 10. Pre-ensamblaje puente metálico 12m.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ S.A.S.

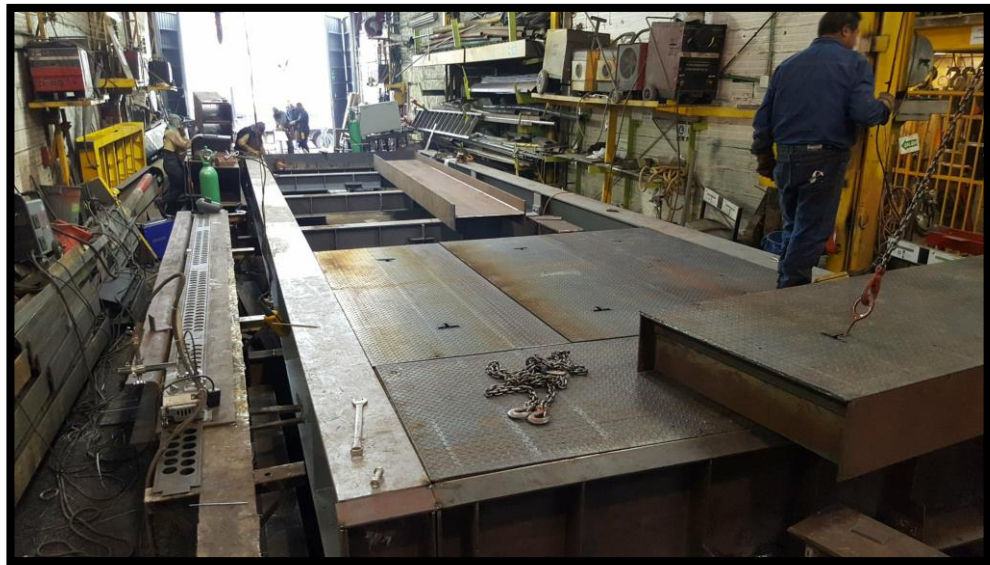
En las almas de estas vigas se le colocan unas platinas que se encargan de rigidizar el elemento reduciendo la flexión que pudiera presentar la estructura, al recibir las cargas del tránsito.

Las vigas transversales son otro elemento que conforma la estructura del puente, estas vigas tienen una longitud de 3160 mm y sus dimensiones son características de una viga IPE 330, estas vigas cumplen la función de distribuir las cargas que le transmiten las vigas longitudinales, la forma de unión de estos elementos es por medio de pernos en los extremos de cada viga se soldó una platina cuadrada con perforaciones donde irá perneada al alma de las vigas longitudinales, por otro lado en el alma se soldan unas platinas encargadas de:

primero recibir y anclar los tensores y segundo rigidizar el elemento, como se observa en la vista en planta del puente.

La superficie de rodadura de este puente es construida en acero mediante la implementación de bloques (pisos) modulares estos elementos son contruidos en dimensiones reducidas para facilitar el montaje y el transporte, en este caso las dimensiones de cada módulo son de 1 m de ancho y para el largo se calcula con forme están distribuidas las vigas transversales ya que estos elementos son apoyados en el patín superior de cada viga transversal.

Ilustración 11. Pisos modulares para puente 12 m



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ S.A.S.

La participación en la construcción de este puente inició con los planos de taller, dirigiendo cada etapa desde el corte hasta el ensamble de las piezas, en cada etapa se realizó una inspección visual y dimensional para verificar que los elementos cumplieran con las especificaciones de diseño.

Después de contruidos los elementos se pre-ensambla el puente de tal manera que las complicaciones que puedan surgir en el momento, puedan ser corregidas y en el montaje las piezas puedan encajar perfectamente, para armar el puente se debe chequear las diagonales del puente, colocando las vigas longitudinales paralelas correctamente niveladas, así se puede dar inicio con el armado del puente. Antes de enviar el puente al lugar del montaje se le realizan unos ensayos no destructivos a las uniones soldadas para verificar que no haya ninguna irregularidad en los cordones soldados. (Se anexan los planos elaborados como evidencia).

Ilustración 12. Cargue puente 12 m.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ S.A.S.

El proceso de construcción se va documentando una vez se termina una etapa, este documento se le denomina DOSSIER DE CALIDAD, se documentó cada proceso haciendo una descripción de las actividades realizadas como el proceso de corte, armado, soldadura, embarque y un manual de armado en donde se ejemplifica la secuencia y ubicación de los elementos, con el fin de una clara lectura e interpretación del proceso de armado y lanzado del puente, de tal manera que una vez el cliente lo reciba, pueda dar inicio del montaje.

5.3. PERIODO 3.

En este periodo se realizaron actividades de campo y de diseño de elementos estructurales.

La salida a campo se realizó en el departamento de Arauca en municipio de Pueblo Nuevo, se necesitaba realizar una inspección y levantamiento de los elementos estructurales del puente el Cusay con el fin de identificar las posibles fallas del puente.

El puente el Cusay está ubicado en la vía que conduce de Tame, Arauca a la ciudad de Arauca, Arauca. La estructura del puente está constituida por dos vigas principales (longitudinales), unidas por vigas secundarias (transversales-longitudinales) y un sistema de arriostramiento vertical y horizontal.

Al realizar la inspección del puente se observa que las riostras de apoyo ubicadas en los estribos, están completamente deterioradas y en uno de sus extremos la soldadura ha fallado completamente generando el desprendimiento

de elementos que soportan la súper estructura, este desprendimiento genera una oscilación permanente del puente, volviéndose una maniobra peligrosa al para el paso del tránsito pesado, ya que el apoyo no está distribuyendo las cargas como debe ser, generando mayores esfuerzos en el lado donde la riostra aún no ha fallado.

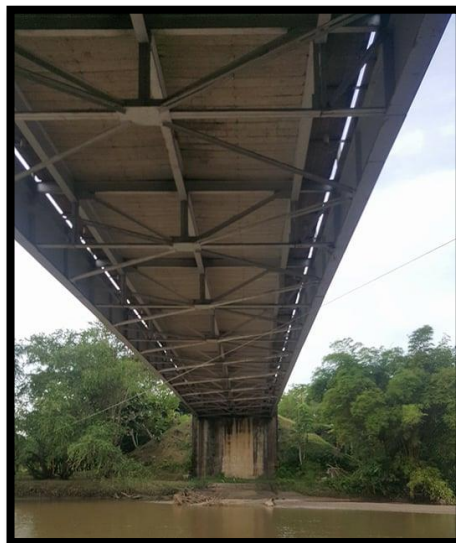
Al observar el deterioro del puente se concluye que es necesario intervenirlo para una pronta rehabilitación, de esta manera se hizo un control dimensional de cada elemento de la sub-estructura y súper estructura, estas medidas servirán para modelar el puente y así determinar cada elemento que debe ser reforzado y reemplazado. Una vez terminado el proceso de medición se puede calcular el peso del puente, este dato es de vital importancia en el momento de realizar el plan para el remplazo de estos elementos.

Ilustración 13. Riostra superior e inferior puente el Cusay, Arauca.



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 14. Vista inferior puente el Cusay.



Fuente: elaboración propia

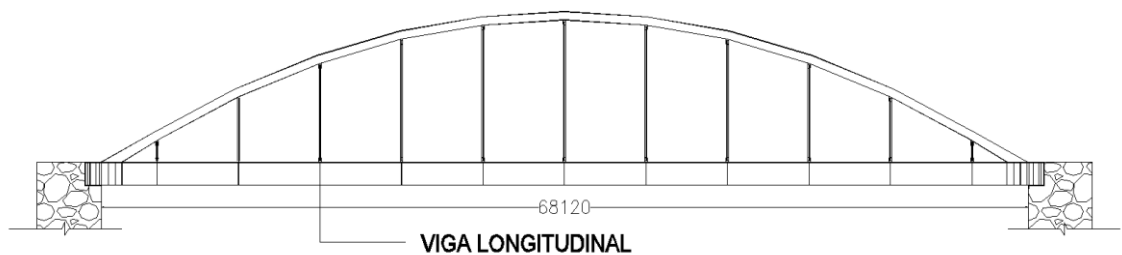
Ilustración 15. Falla en viga transversal y arriostramiento inferior.



Fuente: elaboración propia.

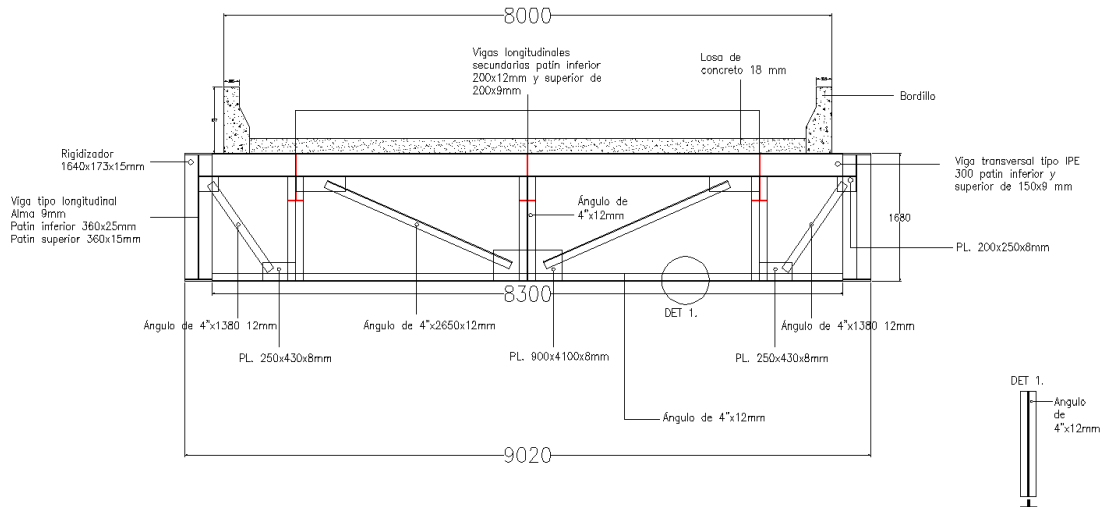
Para la rehabilitación se planea cambiar la riostra inferior donde se apoya el puente, estos elementos se construirán en su totalidad para posteriormente ensamblarlos en el lugar, para realizar estas actividades se va a perforar la losa de concreto en cada uno de los extremos del puente, con el fin de extender dos cables por medio de las perforaciones y de esta manera se colgará el elemento arriostrado para sustituir la estructura antigua.

Ilustración 16. Vista longitudinal puente el Cusay.



Fuente: elaboración propia

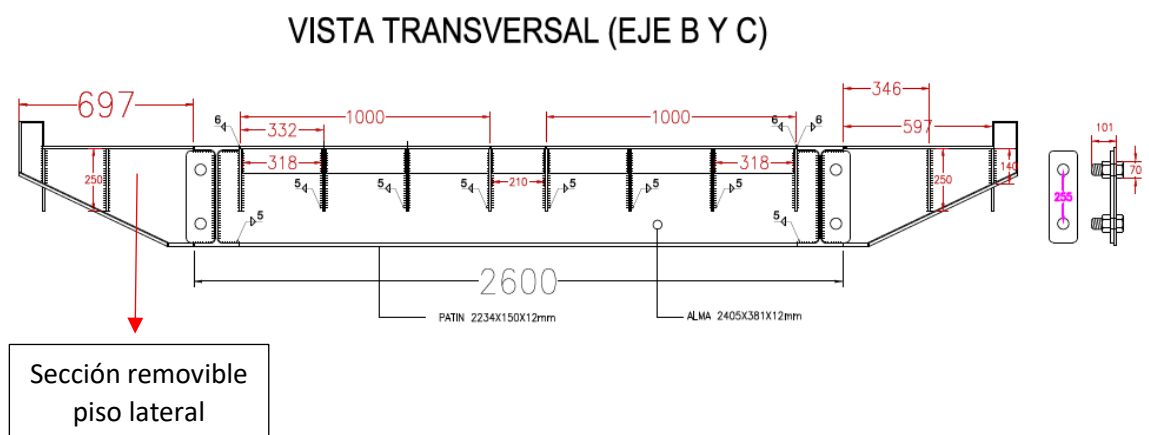
Ilustración 17. Vista transversal puente el Cusay.



Fuente: elaboración propia

En esta etapa también se realizó el diseño de elementos estructurales para la construcción de un puente de 6 m de largo y un ancho útil de 4 m; al tener un ancho útil de 4, no es posible llevar la estructura completamente ensamblada, ya que los vehículos solo cuentan con 2.5 m de ancho disponibles para el cargue. Se diseñó una estructura central compuesta por dos vigas longitudinales IPE 400 y unas vigas transversales prefabricadas, estas vigas fueron soldadas al alma de las vigas principales o longitudinales, para poder completar los cuatro metros se diseñaron dos pisos laterales que se encuentran pernadas a la cara externa del alma de las vigas IPE 400.

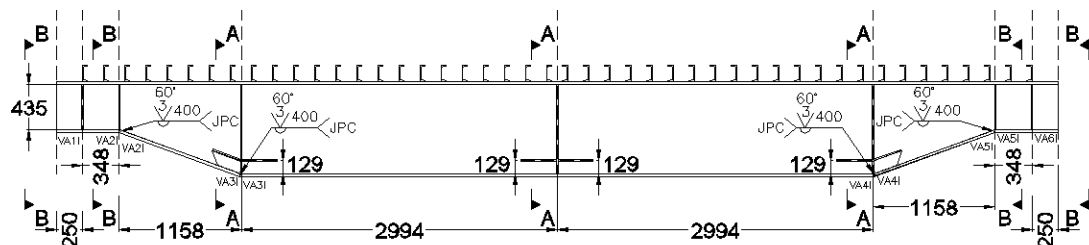
Ilustración 18. Vista transversal puente 6 m.



5.4. PERIODO 4.

Para el último periodo se construyeron dos puentes uno de 9 metros y otro de 16 metros de longitud, la construcción de estos puentes no tomo mayor tiempo porque la parte contratante dejo establecido el suministro de la estructura metálica sin ninguna superficie de rodadura ya que esta se construiría en concreto, por esta razón el tiempo de construcción se basó en el corte de material para conformar los elementos estructurales de la estructura, empezando por las vigas longitudinales donde según el diseño el patín superior e inferior tenían espesores diferentes, siendo el patín inferior el más importante ya que es donde se generan mayores tensiones, para este caso el espesor fue de 25 mm con almas en 9 mm y una altura de 962 mm para el puente de 16 m y para el puente de 9 m se diseñó una viga con las siguientes características.

Ilustración 19. Características viga longitudinal puente 9m

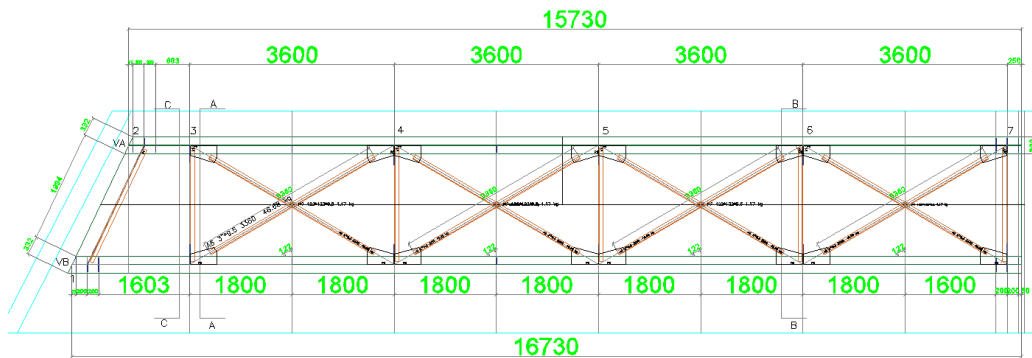


Fuente: área de ingeniería ACERARQ S.A.S

las particularidades de estos puentes se presentan en el material y la forma de unión de sus elementos, el Acero utilizado para este proyecto fue acero A588 donde una de las propiedades de este acero es que no necesita de un proceso de limpieza y pintura ya que cuenta con una capa de autoprotección, la reacción de este acero al estar en la intemperie es generar una capa de óxido dándole una tonalidad rojiza que garantiza la protección del material y reduce las actividades de mantenimiento, por otro lado la estructura no tiene uniones con pernos, siendo la soldadura el único mecanismo de unión.

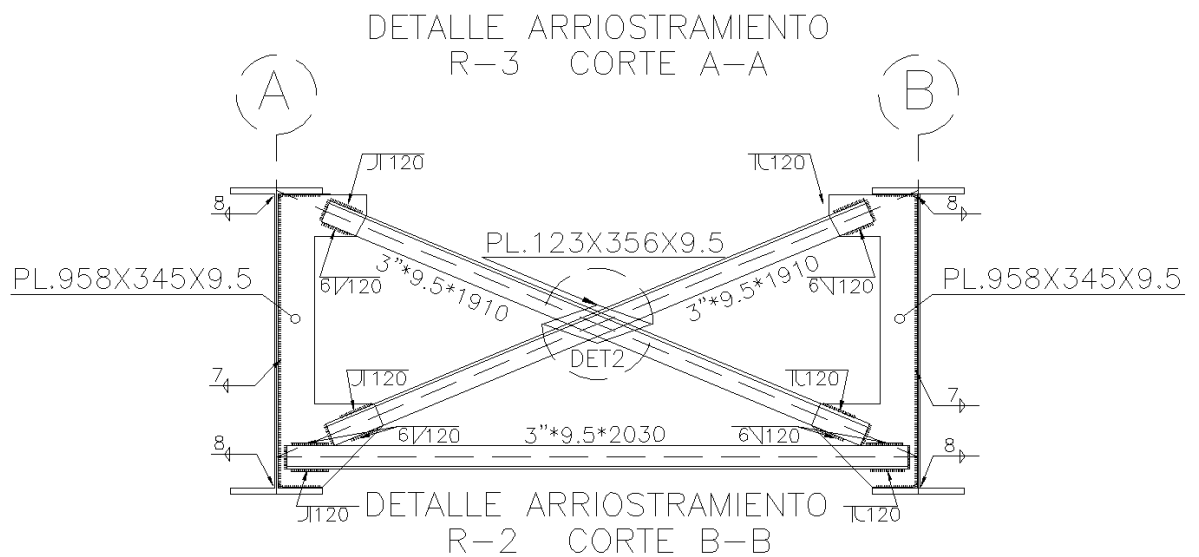
A lo largo de las vigas longitudinales se encuentra un sistema de riostras en ángulo de 3" con espesor de 3/8" soldado a las platinas o rigidizadores colocadas en el alma de cada viga, para poder colocar las riostras se construyeron las vigas principales y se colocaron paralelamente dando el ancho útil para el que fueron diseñados, chequeando que ambas vigas estuviesen perfectamente alineadas y a la misma altura, seguido a esto se puede iniciar con el proceso de armado de las riostras transversales, donde una vez armada la estructura en su totalidad se concluye con el proceso de soldadura.

Ilustración 20. Vista en planta puente 16m.



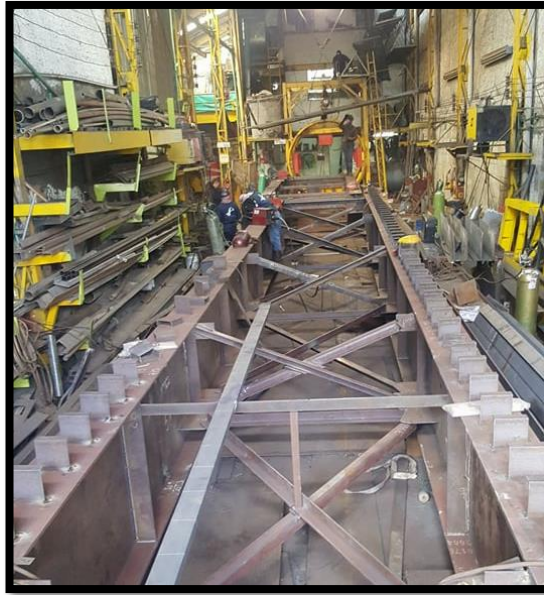
Fuente: área de ingeniería ACERARQ S.A.S

Ilustración 21. Sección transversal con riostra.



Fuente: área de ingeniería ACERARQ S.A.S

Ilustración 22. *Proceso de armado puente 16 m*



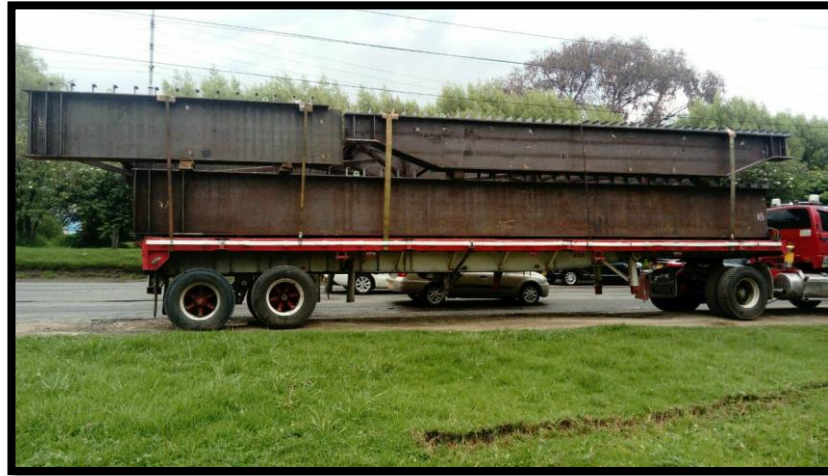
Fuente: Área de ingeniería ACERARQ S.A.S.

El acero A588 reduce los tiempos de construcción ya que elimina el proceso de limpieza y pintura siendo una ventaja a la hora de responder a posibles acontecimientos irregulares de la naturaleza.

Para el caso del puente de 9 m el modo de transporte no tiene ningún inconveniente, porque, normalmente los puentes son trasladados en camiones tipo 3C3 donde el remolque alberga un ancho de 2.5 m y una longitud de 12 m, de esta manera el puente de 9 m cabe en su totalidad, por estas razones el puente de 14 metros se construyó en dos tramos, uno de 12 metros y otro de 4 metros de tal manera que se pudiera llevar por partes en el camión sin exceder las longitudes permitidas para el transporte de carga.

Concluido el proceso de construcción sigue el proceso de transporte y montaje, para el transporte se cargó el camión con las dos estructuras, a continuación, se muestra la evidencia del cargue:

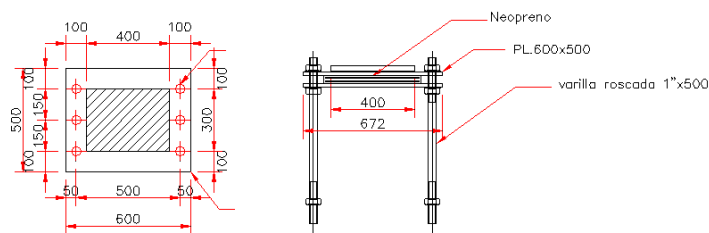
Ilustración 23. Cargue puentes metálicos.



Fuente: Área de ingeniería ACERARQ S.A.S.

De esta manera se trasladó las estructuras metálicas hasta el sitio de montaje, Tadó, Choco. Se realizaron las actividades de ingeniero residente encargado del montaje de las estructuras. Una vez en Tadó Choco se realizó el trazado de ejes de estribo a estribo con el fin de ubicar los apoyos de la estructura y así realizar unas perforaciones para una varilla de 1" donde se colocó las bases de apoyo de cada puente, esta base es conformada por dos platinas de 25 mm donde en medio de ellas se colocó un neopreno para reducir el impacto de las cargas y así proteger el patín inferior de cada viga longitudinal. Para una mejor comprensión se muestra a continuación el detalle de los apoyos del puente.

Ilustración 24. Detalle apoyo.



Fuente: Área de ingeniería ACERARQ S.A.S

Para el izaje de los puentes se utilizó una grúa PH con capacidad para 25 toneladas a un ángulo de 45° , primero se realizó el descargue de cada puente y el primer puente que se hizo fue el puente de 9 m, gracias a que su envergadura era una sola, lo único que requería era ser levantada y colocada en el sitio especificado, para poder izar el puente fueron colocados 4 puntos de anclaje (platinas en forma de ojal), por medio de eslingas y grilletes se sujetó la estructura, levantándose hasta el sitio adecuado.

Ilustración 25. Izado de puente 9m Tadó, Choco.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ S.A.S

Ilustración 26. Izado puente 9m Tadó, Choco.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ.S.A.S.

Para el puente de 16 m al ser llevado en dos tramos requería del empate y unión de las vigas longitudinales, para este proceso se niveló cada elemento y se colocó sobre polines de madera para lograr un nivel adecuado siguiendo con la soldadura en la unión de las dos vigas, cada viga soldada requirió de un día, el proceso de soldadura utilizado fue (SMAW) soldadura con electrodo

revestido, el material de aporte o barra de soldadura, es de especificación LN 8018; como el material base (Acero) es A588 la soldadura debe tener las mismas propiedades de auto protección así el elemento quedará totalmente protegido contra el desgaste y efectos abrasivos en el ambiente.

Ilustración 27. Proceso de soldadura en unión de vigas longitudinales.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ.S.A.S.

Ilustración 28. Izado puente 16 m Tadó, Choco.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ.S.A.S.

Ilustración 29. Izado puente 16 m Tadó, Choco.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ.S.A.S.

Ilustración 30. Posición final puente 14 m Tadó, Choco.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ.S.A.S.

Por último se realizó el acompañamiento en el diseño, construcción y montaje de una escalera de gato para la escuela colombiana de ingeniería, en tubería de 2" de diámetro.

Ilustración 31. Montaje escalera de gato.



Fuente: elaboración propia, propiedad ACERARQ S.A.S

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se documentarán los resultados obtenidos en la ejecución de los trabajos en el área de ingeniería de la empresa ACERARQ S.A.S

Las variables de construcción de los puentes vehiculares modulares en acero dependen de la longitud total del puente, ya que a mayor longitud sus elementos cambiarán en dimensiones, espesor y cantidad, como se pudo observar al inicio del presente documento los puentes con luces entre los 6 y 12 metros son constituidos por vigas tipo IPE o HEA donde sus características están estandarizadas y no necesitan cambios ni refuerzos en ninguna de sus partes.

Mientras que para los puentes con luces superiores a los 12 metros las características estructurales deberán ser calculadas, como es el caso de los patines inferiores de las vigas longitudinales; Normalmente son de un calibre más alto al patín superior y en especial en tramos centrales de la estructura, el cambio de espesores en estos elementos se debe a la deflexión máxima producida en su parte central, al tener mayores espesores se podrá contrarrestar estas fuerzas, logrando obtener vigas de 30 sin tener que adicionar apoyos intermedios.

Una característica y ventaja de los puentes vehiculares modulares en acero, es la versatilidad en su construcción y transporte, cada elemento es construido en su totalidad quedando listo para ser instalado en el sitio de montaje, como si fuese un rompecabezas; al ser un puente modular su transporte no requerirá un transporte especial, más que un camión con planchón o cama baja.

Por otro lado el montaje de la estructura metálica no requiere específicamente de una grúa, ya que en algunos sitios el acceso a las zonas de montaje es reducido y las grúas necesitan de un medio de transporte que moverlas hasta el sitio de montaje, para estos casos una retro-excavadora puede realizar las funciones de la grúa ya sea empujando o levantando los elementos del puente logrando encajar cada una en su lugar.

Por estas razones los puentes modulares se convierten en la mejor opción para atender eventuales acontecimientos catastróficos de la naturaleza dejan a comunidades incomunicadas ya sea por el desplome de estructuras existentes o por deslizamientos de tierra que impidan el paso del tránsito.

Las productoras de hidrocarburos necesitan soluciones rápidas para realizar las actividades de exploración en zonas donde el paso de vehículos se ve interrumpido por terrenos escarpados o zonas con presencia de ríos, de esta manera será necesaria la implementación de una estructura que pueda brindar de forma rápida y segura el paso de maquinaria y equipos.

En muchos casos las exploraciones no tienen mucho éxito lo que ocasiona el retiro de maquinaria, equipos y estructuras. En estos casos la estructura podrá ser removida y desarmada para ser llevada a otro sitio de exploración, cuando la estructura es semi-permanente el diseño estará basado en uniones pernadas.

7. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Conocer y ser parte del proceso constructivo de los puentes vehiculares y estructuras metálicas permite materializar las ideas que son plasmadas en cada diseño, observando el aporte que le genera a la estructura dependiendo de su ubicación y dimensión, permite conocer cómo se involucran los elementos entre sí para actuar en conjunto contrarrestando las fuerzas y esfuerzos a los que van a ser sometidos.

Cada etapa es característica por sus equipos, requiriendo de un plan estratégico que ayude a optimizar los procesos como el corte, donde una cantidad de piezas deben abarcar la mayor área posible logrando un menor desperdicio, para el proceso de armado el chequeo dimensional de cada elemento garantizará la calidad de la pieza, evitando enmendaduras o añadiduras.

La versatilidad en los diseños de estructuras en acero permite construir elementos removibles de la estructura principal, como fue el caso en la construcción del puente de 6 m, donde el ancho de carril debería tener de 4m y se diseñaron dos elementos que completaran este ancho, estos elementos estarían perñadas a la cara externa del alma de las vigas longitudinales, con el fin de ser transportado sin ninguna complicación.

En cuanto al cálculo estructural no se pudo evidenciar en gran medida el proceso de asignación y modelación de los puentes vehiculares en acero, ya que la empresa le asigna los diseños estructurales a una firma externa.

Los tiempos de ejecución en los trabajos de construcción y montaje de los puentes vehiculares en acero son bastante cortos y permiten que una vez montado el elemento en el sitio se pueda dar paso al tránsito.

Al tener la oportunidad de preparar el montaje de los puentes, se puede concluir que los imprevistos que se pueden presentar no siempre están contemplados en los planes diarios de trabajo, por una parte, si la localización queda en lugares lejanos donde conseguir algún repuesto o suministro es casi imposible y el envío puede tardar días, se recomienda tener preparado una unidad más de los equipos o herramienta que se vaya a utilizar.

Una desventaja de los puentes vehiculares en acero es su alto costo dado que el kilogramo de acero es mucho más costoso que el metro cubico de cemento, en la mayoría de los casos la capa de rodadura es construida en una losa de concreto o en asfalto.

BIBLIOGRAFIA

[1] Acerarq S.A.S. (12/07/2017). Sirius Puente Modular. Recuperado de www.acerarq.com

ACESCO, Perfiles manual técnico. Aplicaciones de los electrodos, designación de la soldadura y preparación de bordes.5 actualización Malambo, Atlántico, 2016.

[2] American Welding Society, Standard Welding Terms and Definitions - Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying. Miami: American Welding Society, 2009, p. 162.

[3] ASTM, "ASTM A-588/588M: standardized Specification for High Strength and Low Alloy Structural Steel." United States of America, 2004.

[4] ASTM, "ASTM A-572/572M: standard specification for high-strength lowalloy columbium-vanadium structural steel." United States of America, 2004.

[5] Lincoln Electric, "FCAWESPAÑOL Lincoln." United States of America, p. 88, 2000.

[6] Solderxa, "Manual de soldadura," vol. 7. Lima Perú, p. 295.

<https://www.cebora.it/istr/ist645E.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Pinturas y productos afines. Sistemas de pinturas protectoras. Variables de evaluación en campo. NTC-351. Bogotá D.C: El Instituto, 10 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Recubrimientos de zinc (galvanizado por inmersión en caliente) en productos de hierro y acero. NTC-3320. Bogotá D.C. El Instituto, 16 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Norma colombiana de diseño de puentes tomo 1 (CCP-14). Sección 6 estructuras en acero. Bogotá D.C. Grama Editores, 2016.